

# Interpretação de vários mundos da mecânica quântica? – É muito simples!

Alexander Yu. Kamenshchik

Universidade de Bolonha, Itália

---

## Resumo

Descrevemos de forma relativamente acessível ao público em geral as principais ideias da interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica. Discutimos a questão de seu caráter “contraintuitivo”, citando algumas obras literárias escritas antes e depois de sua invenção.

## Abstract

We describe in a relatively popular way the main ideas of the many-worlds interpretation of quantum mechanics. We discuss the question about its “counter-intuitiveness” citing some literature works written before and after its invention.

---

**Palavras-chave:** mecânica quântica, medições, vários mundos.

**Keywords:** quantum mechanics, measurements, many-worlds.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v7n1.51564](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v7n1.51564)

## 1 Introdução

O formalismo matemático da mecânica quântica foi criado há cem anos e essa teoria encontrou inúmeras aplicações. É impossível imaginar nosso cotidiano sem dispositivos cujo funcionamento se baseia na aplicação das leis da teoria quântica. Nos últimos tempos, as pesquisas na área de tecnologias quânticas, informática quântica e computadores quânticos prometem a chegada da segunda revolução quântica, que pode mudar nossas vidas de uma maneira ainda mais inesperada. As ideias da mecânica quântica transformaram a visão científica do universo e influenciaram toda a atmosfera cultural dos últimos cem anos.

Apesar de quase todos os pesquisadores acreditarem na correção das conclusões que decorrem dos cálculos baseados na mecânica quântica, os fundamentos dessa teoria e sua interpretação ainda representam um campo de intensos debates. O interesse pelas questões da interpretação da mecânica quântica aumentou ainda mais nos últimos anos. Esse fenômeno está ligado ao desenvolvimento da técnica experimental, que permitiu a realização de alguns experimentos inven-

tados e discutidos por teóricos há mais de cinquenta anos, e também ao surgimento de um novo ramo da teoria quântica: a informática quântica. Por outro lado, o desenvolvimento da cosmologia observacional e da teoria da inflação cosmológica estimulou o interesse pelos efeitos quânticos na cosmologia, o que colocou algumas questões da interpretação da mecânica quântica no centro das atenções.

Por que os pesquisadores discutem as questões da interpretação da mecânica quântica e raramente discutem as interpretações da mecânica clássica? A questão reside no fato de que algumas noções e conclusões da mecânica quântica parecem bastante contraintuitivas. Diferentes maneiras foram inventadas para explicar ou eliminar essa contraintuitividade. A interpretação mais popular da mecânica quântica é a chamada interpretação de Copenhague. Um dos fundadores dessa interpretação foi Niels Bohr, que trabalhou quase toda a sua vida em Copenhague, um dos centros de desenvolvimento da nova teoria. Diferentes aspectos dessa interpretação foram discutidos por físicos como Max Born, Werner Heisenberg, John von Neumann e outros. Relativamente popular também é a interpretação da onda

piloto, baseada em algumas ideias de Louis de Broglie e significativamente desenvolvida e elaborada por David Bohm. Neste artigo, discutiremos a chamada interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica [1], criada por Hugh Everett e promovida por Bryce DeWitt e outros cientistas. Argumentaremos por que essa interpretação é, em certo sentido, a mais lógica. Por outro lado, ela parece bastante contraintuitiva. Essa aparente “loucura” da interpretação repele alguns pesquisadores, enquanto se mostra particularmente atraente para outros. Tentaremos verificar se essa interpretação é tão bizarra quanto parece à primeira vista.

Na segunda seção deste artigo, explicaremos em termos simples onde reside a diferença entre a mecânica clássica e a mecânica quântica e qual é o principal problema da interpretação da mecânica quântica. Também descreveremos brevemente a interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica e seu desenvolvimento histórico. Na terceira seção, apresentaremos alguns exemplos de ideias muito próximas a essa interpretação, mas que surgiram na literatura, no cinema e, em geral, em áreas não diretamente ligadas à física. Isso ilustrará nossa ideia de que a interpretação de Vários Mundos não é tão incomum e absurda. A última seção contém breves considerações finais.

## 2 Mecânica clássica versus mecânica quântica e a interpretação de Vários Mundos

### 2.1 Determinismo na mecânica clássica e quântica

Uma vez que Einstein disse (é difícil encontrar a citação precisa), que se você repetir algumas ações, sob as mesmas condições, obterá sempre os mesmos resultados. De fato, se pensarmos no mundo regido pela mecânica clássica, então essa afirmação tem um significado bastante preciso. Lembremos o que nos diz a segunda lei de Newton:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F, \quad (1)$$

onde  $x$  é a posição de uma partícula,  $t$  é o tempo e  $F$  é a força que atua sobre a partícula. A segunda lei de Newton implica que, se você conhece a posição inicial de uma partícula, sua velocidade

inicial e a força que atua sobre ela, você pode prever o que acontecerá com essa partícula no futuro. O resultado de sua evolução é rigidamente determinado. Em princípio, se conhecêssemos as posições e velocidades de todas as partículas do mundo e todas as forças que atuam entre elas, seria possível prever o futuro de todo o Universo. Tal afirmação radical é chamada de determinismo de Laplace. O que acontece na mecânica quântica? Em vez da lei de Newton, temos a equação de Schrödinger:

$$i\hbar \frac{\partial |\psi\rangle}{\partial t} = \hat{H} |\psi\rangle. \quad (2)$$

Aqui,  $|\psi\rangle$  é a função de onda do sistema em consideração,  $\hbar$  é a constante de Planck, que caracteriza a escala na qual os efeitos quânticos se tornam essenciais, e  $\hat{H}$  é o análogo quântico da energia clássica. Pode-se dizer que a equação de Schrödinger é tão determinística quanto a equação de Newton. De fato, se conhecermos o valor da função de onda  $|\psi(t_0)\rangle$  em um instante  $t_0$ , podemos prever sua evolução para um instante  $t$  arbitrário.

No entanto, existe uma diferença essencial entre a função de onda e as posições, velocidades ou outras grandezas usadas na mecânica quântica. A função de onda não pode ser medida diretamente; ela apenas nos fornece informações sobre as probabilidades de diferentes resultados de um experimento. Além disso, esse caráter probabilístico das previsões dos resultados de medições ou outros processos na mecânica quântica não é causado por alguma falta de conhecimento do estado do sistema, mas é, ao contrário, uma característica fundamental da teoria. Para entender melhor o que isso significa, vamos considerar o princípio da superposição, que é um dos postulados básicos da mecânica quântica. Na mecânica clássica, se sabemos que uma partícula pode ser encontrada em um determinado lugar, então: dizemos que a partícula está em um estado puro e temos informações completas sobre esse estado. Se, em vez disso, a partícula: com certa probabilidade pode ser encontrada em um lugar e com outra probabilidade em outro lugar, dizemos que a informação sobre o estado não está completa e o estado é misto. Na mecânica quântica, podemos ter uma função de onda  $|\psi_1\rangle$  correspondente a um resultado  $a_1$  de uma medição de uma

certa quantidade  $A$  e outra função de onda  $|\psi_2\rangle$  correspondente a outro resultado  $a_2$  da medição. Ambos esses estados são puros. No entanto, em contraste com a mecânica clássica, a combinação linear desses estados quânticos, digamos

$$|\psi\rangle = c_1|\psi_1\rangle + c_2|\psi_2\rangle, \quad (3)$$

onde  $c_1$  e  $c_2$  são números complexos tais que

$$|c_1|^2 + |c_2|^2 = 1, \quad (4)$$

também é um estado quântico puro que não é pior que os estados  $|\psi_1\rangle$  e  $|\psi_2\rangle$ . Se tivermos um sistema no estado (3), não podemos prever exatamente qual será o resultado da nossa medição. Podemos apenas dizer que será igual a  $a_1$  com a probabilidade  $p_1 = |c_1|^2$  e será igual a  $a_2$  com a probabilidade  $p_2 = |c_2|^2$ . Esta situação não está relacionada com a falta de informação. Está relacionada, em vez disso, com o fato de os estados quânticos existirem num espaço de Hilbert linear e todos os vetores deste espaço terem direções iguais. O princípio da superposição, a equação de Schrödinger e o caráter probabilístico da previsão da mecânica quântica são fatos experimentais bem estabelecidos. Assim, qual é o principal problema conceptual aqui? O problema consiste no fato de diferentes resultados possíveis de uma medição entrarem na teoria em pé de igualdade, embora vejamos não todos, mas apenas um. O que aconteceu aos outros resultados possíveis, onde estão ocultos e por que razão um determinado é escolhido?

## 2.2 O que é a medida quântica?

Para explicar o que é uma medição quântica, consideremos o postulado da redução do pacote de ondas, formulado por John von Neumann [2]. Segundo von Neumann, em qualquer medição quântica participam três sistemas: 1) o objeto quântico, que é descrito pela função de onda  $|\psi\rangle$ ; 2) o dispositivo de medição macroscópico, descrito pela função de onda  $|\Phi\rangle$ ; 3) o observador. As fronteiras entre esses três sistemas são bastante móveis, mas sua fixação exata não é importante; o importante é o próprio fato de sua existência. A função de onda que descreve o sistema maior, incluindo tanto o objeto quântico quanto o dispositivo de medição, tem a forma  $|\Phi\rangle|\psi\rangle$ . Vamos tentar tratar o processo de medição como

uma interação normal, descrita pela equação de Schrödinger. Portanto, o ato de medição pode ser descrito por um operador unitário  $\hat{U}$ , que surge devido à solução da equação de Schrödinger:

$$\begin{array}{ccc} |\Phi\rangle|\psi\rangle & \rightarrow & \hat{U}|\Phi\rangle|\psi\rangle \\ \text{antes da medida} & & \text{depois da medida.} \end{array} \quad (5)$$

Agora podemos introduzir o postulado de medição de Von Neumann: se  $|\psi\rangle$  corresponde a um resultado definido da medição (isto é, se  $|\psi\rangle$  é um autoestado do operador correspondente à quantidade observável, que medimos), então o estado do objeto não se altera, enquanto o dispositivo passa pela transição para o estado correspondente à medição do valor  $a_i$ :

$$\hat{U}|\Phi\rangle|a_i\rangle = |\Phi_i\rangle|a_i\rangle. \quad (6)$$

O que acontece se o estado do objeto quântico antes da medição representar uma superposição dos autoestados do operador do observável mensurável?

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i|a_i\rangle? \quad (7)$$

Para responder a essa pergunta, devemos usar ambos os postulados: o postulado da superposição e o postulado da medição:

$$\hat{U}|\Phi\rangle|\psi\rangle = \hat{U}|\Phi\rangle \sum_i c_i|a_i\rangle = \sum_i c_i|\Phi_i\rangle|a_i\rangle. \quad (8)$$

Observamos que a função de onda, que descreve conjuntamente o objeto quântico e o dispositivo macroscópico, representa a superposição, onde cada componente corresponde a uma determinada leitura do dispositivo. No entanto, na realidade, não vemos uma superposição, mas sim uma indicação específica do dispositivo, ou seja, um determinado resultado da medição quântica. Como podemos explicar esse fato? Para responder a essa pergunta, von Neumann introduz o postulado da projeção, ou o postulado da redução do pacote de ondas. Isso significa que, após a medição, ocorre a transição da função de onda do objeto quântico para um dos autoestados do operador correspondente. Contudo, o operador unitário da evolução  $\hat{U}$  não pode realizar essa transição ou projeção. Isso fica claro pelo fato de o operador unitário conservar a norma do vetor, enquanto a projeção dá origem a um estado

$c_i|a_i\rangle$  cuja norma é  $|c_i|^2 < 1$ . Assim, sugere-se que na mecânica quântica existe não apenas uma evolução unitária governada pela equação de Schrödinger, mas também outro processo - a redução do pacote de ondas, que pode ser descrito da seguinte forma:

$$\sum_i c_i|\Phi_i\rangle|a_i\rangle \rightarrow |\Phi_j\rangle|a_j\rangle. \quad (9)$$

Este processo tem um caráter probabilístico. Uma parte da função de onda sobrevive com a probabilidade  $p_i = |c_i|^2$ , enquanto o restante da função de onda  $\sum_{i \neq j} c_i|\Phi_i\rangle|a_i\rangle$  se anula, desaparece no ar.

### 2.3 A Interpretação de Copenhague

A presença de dois processos dinâmicos bastante diferentes, um determinístico e outro estranhamente estocástico, parece bastante enigmática do ponto de vista lógico. Assim, o que é amplamente chamado de interpretação de Copenhague da mecânica quântica pode ser tratado, de forma geral, como um conjunto de tentativas de explicar esse paradoxo lógico. Em primeiro lugar, devemos mencionar o princípio da complementaridade, introduzido por Niels Bohr [3].

Inicialmente, o princípio da complementaridade surgiu como uma interpretação da relação de incerteza de Heisenberg, que afirma ser impossível medir simultaneamente, com precisão ilimitada, a coordenada de uma partícula e seu momento, porque essas incertezas obedecem à desigualdade

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar/2. \quad (10)$$

A partir desse ponto, Bohr desenvolveu a concepção de que o momento e a coordenada são duas características complementares. Essas características correspondem à descrição em termos de momento e energia, por um lado, e à descrição em termos de espaço e tempo, que na mecânica quântica são reciprocamente excluídas. Pode-se dizer que à descrição espaço-temporal correspondem corpúsculos, enquanto à descrição em termos de energia e momento correspondem ondas. Um objeto quântico é simultaneamente onda e partícula, mas em qualquer processo de interação desse objeto com um dispositivo, observa-se apenas um grupo dessas propriedades — corpusculares ou ondulatórias. Esse fenômeno é chamado

de dualismo onda-partícula. No entanto, esse dualismo representa apenas uma parte do princípio da complementaridade. De fato, relações semelhantes à relação de Heisenberg podem ser escritas para qualquer par de observáveis cujos operadores não comutam, por exemplo, os operadores de projeção de spin em eixos diferentes.

As conclusões de Bohr partiram do fato de que não era possível medir simultaneamente, com precisão ilimitada, duas variáveis correspondentes a operadores que não comutam entre si. Bohr afirmou que esse princípio é válido para todas as ciências. O princípio da complementaridade pode ser formulado, de forma geral, da seguinte maneira: não existe um sistema de noções clássicas livre de contradições que possa descrever a realidade; sempre existem abordagens mutuamente excludentes e complementares. Bohr também afirmou que a mecânica quântica não é apenas uma teoria que descreve variáveis físicas complementares. A mecânica quântica se fundamenta na relação de complementaridade com sua antecessora, a mecânica clássica. As relações entre a mecânica clássica e a mecânica quântica são diferentes das relações entre a mecânica clássica e a relatividade restrita. Podemos primeiro construir a relatividade restrita e, em seguida, considerar o limite da velocidade da luz infinita. Obtemos, então, a mecânica newtoniana. Portanto, a mecânica newtoniana é o caso limite da mecânica relativística e esta última, em princípio, pode ser construída sem qualquer conhecimento da mecânica clássica.

No caso da mecânica quântica, também podemos obter a mecânica clássica como um limite da mecânica quântica, mas a mecânica clássica não é um simples limite da mecânica quântica. A existência da mecânica clássica é necessária para a construção da mecânica quântica. Qual a razão dessa complementaridade entre a mecânica clássica e a mecânica quântica?

De acordo com a interpretação de Copenhague, na realidade física deveria existir o “domínio clássico”, ou seja, os objetos que obedecem às leis da mecânica quântica, mas se comportam classicamente. Os macrodispositivos que produzem medições pertencem a esse domínio clássico. É devido a essa classicalidade dos dispositivos de medição que observamos um valor definido das grandezas medidas, mesmo que o sistema

quântico não esteja em um autoestado do operador correspondente.

O princípio da redução do pacote de ondas de von Neumann representa outro aspecto, mais matemático, da interpretação de Copenhague, entendida em um sentido bastante amplo. Pode-se dizer que a evolução unitária e o processo de redução do pacote de ondas também podem ser tratados como processos complementares, no espírito da abordagem de complementaridade de Bohr.

Deve-se acrescentar que, ao discutir as razões para a existência do processo de redução do pacote de ondas, von Neumann afirmou que a presença do observador consciente é crucial para sua realização.

Entre outros proponentes da interpretação de Copenhague da mecânica quântica, podemos mencionar também Max Born, que enfatizou o caráter estatístico das previsões da mecânica quântica [4], e Werner Heisenberg. Heisenberg era, de certa forma, mais radical que Bohr: ele acreditava que as próprias propriedades físicas que estudamos durante o processo de medição quântica surgem devido ao próprio processo de medição.

Podemos afirmar que a interpretação de Copenhague desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da mecânica quântica e suas aplicações. Ela não ensinou como calcular as observáveis, mas buscou explicar por que esses cálculos faziam sentido lógico. Além disso, libertou a imaginação dos físicos e contribuiu para que o ideal determinístico da mecânica clássica não se tornasse um objetivo absoluto da teoria física.

## 2.4 Interpretações neo-clássicas da mecânica quântica

No entanto, nem todos os físicos estavam satisfeitos com a interpretação de Copenhague. Para alguns deles, a própria ideia de que a descrição quântica da realidade fosse completa parecia insuiciente. Assim, algumas interpretações que poderiam ser chamadas de neo-clássicas foram propostas. A mais desenvolvida entre elas foi a chamada interpretação de de Broglie-Bohm, que obteve uma forma matemática bastante elaborada na década de 1950 [5].

A ideia principal das interpretações neo-

clássicas é que deve existir uma teoria geral que forneça o determinismo do tipo clássico. Em relação a essa teoria, a mecânica quântica é sua aproximação estatística. Normalmente, as interpretações neo-clássicas, incluindo a de de Broglie-Bohm, utilizam a noção de parâmetros ocultos. Supõe-se que a função de onda não define unicamente o estado de um sistema em consideração. Paralelamente, existem parâmetros ocultos cujo conhecimento pode nos dar a oportunidade de prever de forma única o resultado da medição quântica. Esses parâmetros ocultos são distribuídos estatisticamente de tal forma que o caráter probabilístico das previsões da mecânica quântica é conservado e não podemos, na prática, definir com exatidão os valores desses parâmetros. Portanto, todas as características da mecânica quântica são preservadas. Contudo, é significativo que exista, em princípio, uma descrição do estado do sistema em questão que permita evitar a indefinição na previsão dos resultados das medições.

É curioso que essa interpretação neo-clássica tenha sido desenvolvida por David Bohm, que anteriormente havia escrito o livro *Teoria Quântica* [6], onde o espírito da interpretação de Copenhague é apresentado de forma muito clara e lógica. Além disso, a formulação moderna do efeito Einstein-Podolsky-Rosen [7] foi apresentada por Bohm. Um dos efeitos quânticos mais paradoxais também é chamado de efeito Aharonov-Bohm [8]. Vamos explicar o que significa o efeito Einstein-Podolsky-Rosen. Em seu artigo, os autores observaram que, se dois sistemas quânticos interagem e se tornam correlacionados (agora dizemos emaranhados), mesmo estando separados por uma grande distância, essa correlação ainda existe e sua presença implica alguns efeitos que podem ser tratados como paradoxais, pois aparentam existir uma interação superluminal entre os sistemas. Ora, é evidente que não há interação superluminal e que é mais correto falar em efeito EPR ou correlações EPR, e não em paradoxo EPR. O efeito Aharonov-Bohm consiste no fato de que, na mecânica quântica, a presença do potencial eletromagnético é observável mesmo quando os campos elétrico e magnético estão ausentes em alguma região do espaço.

## 2.5 Interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica

Finalmente, estamos prontos para discutir o tema principal deste artigo: a interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica. A popularidade dessa interpretação cresceu significativamente nas últimas décadas. Essa interpretação foi proposta por Hugh Everett em 1957 em sua tese de doutorado [9]. Uma versão resumida dessa tese foi publicada no periódico *Reviews of Modern Physics* [10] juntamente com um comentário escrito por John Wheeler [11], que foi o orientador de Everett. A essência da concepção de Everett consiste no abandono do postulado da redução do pacote de ondas, que ele considerava supérfluo e logicamente pouco compatível com o outro postulado da mecânica quântica — a evolução unitária de um estado quântico, governada pela equação de Schrödinger. Além das razões lógicas, havia também considerações cosmológicas. De fato, a interpretação de Copenhague implica a existência de um observador clássico externo, que não obedece às leis da mecânica quântica. Esse observador pode realizar uma observação em relação a um sistema quântico. O resultado dessa medição é a redução da função de onda. Contudo, se considerarmos todo o Universo como um único objeto quântico, não podemos recorrer a um observador clássico que exista fora do mundo. Assim, a interpretação de Copenhague não é aplicável ao Universo em termos cosmológicos. A interpretação de Vários Mundos, por sua vez, que não exige um observador clássico, parece ser adequada para a consideração de problemas cosmológicos.

Durante muitos anos, a interpretação de Everett não foi levada a sério pela maioria dos físicos. Provavelmente, isso se devia a um certo paradoxo resultante da existência dos mundos paralelos, onde vivem cópias de vários objetos e até mesmo de seres humanos. Um papel muito importante na popularização da concepção de Everett foi desempenhado por Bryce DeWitt, que publicou alguns artigos no final da década de 1960 [12]. Nesses artigos, o termo “interpretação de Vários Mundos” foi introduzido pela primeira vez. Everett usou um termo mais modesto: “formulação de estado relativo da mecânica quântica”. A ironia do destino reside no fato de que o próprio DeWitt foi o revisor do artigo de Everett, pu-

blicado em 1957, e, nessa qualidade, mostrou-se bastante cético e relutante. Em 1973, DeWitt, juntamente com seu aluno Graham, publicou o livro *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* [1], que incluía alguns artigos de DeWitt, de Graham e de outros autores e, em particular, continha o texto da versão completa da tese de doutorado de Everett. Então, durante as décadas de 1970 e 1980, a popularidade da teoria de Everett aumentou consideravelmente. A abordagem de Everett estava ganhando força.

Em parte, esse processo estava ligado aos sucessos da cosmologia. O desenvolvimento da teoria da inflação cosmológica, que resolveu alguns problemas da teoria do universo quente, trouxe à tona a questão da origem das condições iniciais para a evolução clássica do Universo. A teoria que deveria descrever tais condições é a cosmologia quântica, baseada na noção de estado quântico ou função de onda do universo. Esse estado quântico descreve probabilisticamente não apenas os campos de matéria que povoam o Universo, mas também suas características geométricas. Para a cosmologia quântica, a interpretação de Vários Mundos parece ser a mais adequada.

Embora explique bem alguns fenômenos enigmáticos da mecânica quântica, a interpretação de Vários Mundos também cria alguns problemas, que agora são intensamente discutidos na literatura física e filosófica.

Vamos repetir mais uma vez o que a interpretação de Vários Mundos nos diz. No fundamento dessa interpretação está a afirmação de que todos os processos no mundo, microscópicos e macroscópicos, e todos os objetos, incluindo os seres humanos e sua consciência, obedecem às leis da mecânica quântica e devem ser descritos por ela. por meio do estado quântico do Universo. Este estado quântico ou a função de onda evolui com o tempo de acordo com a equação de Schrödinger. Todos os processos físicos são descritos por esta equação. O postulado da redução do pacote de ondas é abandonado, o desaparecimento dos termos não realizados na função de onda não ocorre e todos os termos na equação de Neumann devem ser tratados em pé de igualdade. Esses termos na equação de Neumann são chamados de ramos e pode-se imaginar que eles existam em mundos paralelos. Em qualquer caso, o observador vê um resultado definido da observação ou medição.

Assim, a função de onda é considerada um objeto real que obedece à equação de Schrödinger e não precisa de outros postulados. DeWitt caracterizou esta situação dizendo que “O aparato matemático da mecânica quântica determina sua interpretação”.

Note-se aqui que, antes do trabalho de Everett, as ideias relativas ao papel objetivo da função de onda e à ausência de saltos quânticos foram expressas por Schrödinger em 1935 [13] e em 1936 [14], o que pode ser considerado um precursor da interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica.

Comparando a interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica com a interpretação de Copenhague e a interpretação neo-clássica, pode-se notar que a interpretação de Vários Mundos é muito econômica. Ela não adiciona nada ao conjunto mínimo de postulados, equações e noções. De fato, na interpretação neo-clássica introduzem-se as variáveis ocultas; na interpretação de Copenhague, adiciona-se o princípio da complementaridade, a redução do pacote de ondas e, talvez, até mesmo um papel importante da consciência humana. Em vez disso, o próprio espírito da interpretação de Vários Mundos reside em sua extrema coerência lógica e simplicidade. Ela proclama que não devemos adicionar nada ao conjunto mínimo de postulados. Se assim é, por que nem todos a aceitam? Aceitamos essa interpretação de braços abertos? Provavelmente, a resposta, se a formularmos em termos da vida cotidiana, é a seguinte: às vezes a verdade é simples e imediata, mas as pessoas não estão prontas para aceitá-la porque é desconfortável. Assim, algumas pessoas criam esquemas de raciocínio complicados para evitar o encontro com alguma verdade simples, mas desconfortável.

Em nosso caso, essa verdade consiste no fato de que, se omitirmos o postulado da redução do pacote de ondas, então cada termo na superposição deve ser tratado como existente. Como podemos conciliar o fato de vermos apenas uma saída da observação? É necessário supor que a cada ramo da função de onda corresponde um mundo separado. Em qualquer mundo existe um sistema quântico e um observador típico desse mundo. O estado do sistema e o estado do observador estão correlacionados. O processo de medição pode ser chamado de processo de ramificação da função de

onda ou processo de “divisão” dos mundos. Em qualquer mundo, a quantidade medida tem um valor definido e esse valor é fixado pelo observador que vive nesse mundo. Portanto, para os observadores em qualquer um desses mundos, ocorre uma redução efetiva do pacote de ondas.

Essa ideia da coexistência de mundos paralelos parecia muito louca para muitos pesquisadores, e não só para eles. Por outro lado, essa ideia parecia muito empolgante para outros físicos, e não só para físicos. Inspirou muitas obras na literatura e no cinema.

Mais interessante ainda é o fato de que, em algumas narrativas escritas antes da criação da interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica, ideias muito semelhantes foram expressas de forma coloquial. Falaremos sobre isso na próxima seção.

Concluindo esta seção, gostaríamos de dizer algumas palavras sobre a vida de Everett. Após a defesa de sua tese de doutorado e depois de uma série de discussões infrutíferas com Bohr, organizadas por Wheeler, Hugh Everett deixou a carreira acadêmica. Ele trabalhou em matemática aplicada, em programação e na aplicação da matemática a questões militares. Organizou algumas empresas.

Ele obteve resultados interessantes em diferentes ramos da matemática e todos que o conheceram notaram seu intelecto aguçado. Em certo momento, um seminário de um dia dedicado à sua interpretação foi organizado por DeWitt e, durante este seminário, ocorreu o único encontro pessoal entre eles.

Hugh Everett era um fumante inveterado. Durante alguns anos, consumiu muitas bebidas alcoólicas e morreu repentinamente em 1982, vítima de um infarto, aos 51 anos. Agora, sua personalidade está se tornando, de certa forma, mítica, enquanto as memórias das pessoas que o conheceram parecem bastante contraditórias. De qualquer forma, todos reconheciam seu intelecto aguçado e brilhante.

### **3 A interpretação de Vários Mundos é contraintuitiva?**

Já mencionamos o fato de que, após um período onde foi praticamente ignorada, quando as pes-

soas começaram a discutir seriamente a interpretação de Vários Mundos, ela atraiu a atenção de escritores de ficção científica. Pode-se dizer que não apenas pesquisadores e escritores de ficção científica, mas também um público mais amplo se acostumou com a ideia da multiplicidade de mundos. Assim, talvez essa ideia não seja tão contraintuitiva quanto parecia antes. A partir da década de 1980, surgiram muitas obras literárias que utilizavam as ideias da interpretação de Vários Mundos, citando explicitamente o nome de Everett. Podemos citar o romance de ficção científica de Frederic Pohl, publicado em 1986 e intitulado *The Coming of Quantum Cats* [15]. O título faz referência ao famoso paradoxo do gato de Schrödinger e a trama do romance se dedica à comparação de diferentes versões da vida dos protagonistas, realizadas em diferentes mundos de Everett. Pode-se mencionar também o filme *Sliding Doors* (1998) [16]. Nesse filme, a interpretação de Everett não é mencionada, e não temos certeza se seus criadores a conheciam; no entanto, não só a trama, mas também o estilo do filme se adequam perfeitamente à sua apresentação. Uma garota, que é a personagem principal do filme, tem duas vidas paralelas: em uma vida, ela pega o trem no metrô em um determinado momento, enquanto na outra versão de sua vida, ela perde esse trem e pega o próximo. Essas duas versões são significativamente diferentes. Notavelmente, os episódios dessas duas vidas se misturam no filme e o espectador pode distingui-los prestando atenção aos diferentes penteados da protagonista.

Na versão canônica da interpretação de Everett, as transições entre os mundos não são possíveis, mas a ideia de saltar de um ramo de Everett para outro é uma tentação forte demais para ser evitada. Assim, em muitas obras de ficção científica, incluindo o romance de Frederic Pohl mencionado acima, esses saltos são realizados. Falando sobre os saltos entre os mundos, gostaríamos de mencionar as obras do conhecido astrofísico e escritor de ficção científica Pavel Amnuel, que escreveu vários romances e contos em russo, onde a interpretação de Everett é citada explicitamente. Por exemplo, em seu romance *Caso Não Criminal* [17], a transição entre diferentes mundos de Everett é descrita. Curiosamente, para realizar esses saltos não é necessário

construir dispositivos complicados. Basta saber que esses saltos são possíveis e basta pensar neles para que aconteçam.

Na interface entre a ciência popular e a ficção científica encontram-se as histórias em quadrinhos escritas pelo conhecido físico teórico francês Thibault Damour juntamente com Mathieu Burniat *Le mystère du monde quantique* [18]. Esta história em quadrinhos, traduzida em vários idiomas, apresenta a interpretação de Vários Mundos de uma forma bastante cômica.

No entanto, o fenômeno mais interessante, que se pode descobrir ao examinar a literatura de forma caótica, consiste no fato de que a ideia de que mundos paralelos poderiam existir foi expressa sem qualquer conexão com a mecânica quântica e muito antes da criação da interpretação de Everett. Um leitor pode abrir o livro já mencionado, editado por DeWitt e Graham, *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, e encontrar como epígrafe a citação do conto *O Jardim dos Caminhos que se Bifurcam*, de Jorge Luis Borges, escrito em 1941 [19]. O protagonista dessa história, um espião alemão de origem chinesa no Reino Unido durante a Primeira Guerra Mundial, discute com um sinólogo inglês um estranho romance escrito por um de seus ancestrais. O cientista explica que, nesse romance, o autor tentou descrever todos os resultados possíveis de um evento, cada um dos quais leva a uma multiplicação posterior das consequências em uma ramificação contínua de futuros possíveis. A história de Borges é bastante famosa. Faz sentido repetir exatamente a parte que foi usada como epígrafe do livro de DeWitt e Graham:

[...] uma imagem, incompleta, mas não falsa, do Universo como Tsui Pen o concebia. Diferente de Newton e Schopenhauer, [...] [ele] não pensava no tempo como absoluto e uniforme. Ele acreditava em uma série infinita de tempos, em uma rede vertiginosa e crescente, porém expansiva, de tempos divergentes, convergentes e paralelos. Essa teia do tempo — cujos fios se aproximam, bifurcam, se cruzam ou se ignoram ao longo dos séculos — abrange todas as possibilidades. Não existimos na maioria delas. Em algumas, você existe e eu não, enquanto em outras eu existo e você não, e em outras ainda ambos existimos. Nesta, em que o acaso me favoreceu, você chegou ao meu portão. Em outra, você, atravessando o

jardim, me encontrou morto. Em outra ainda, eu digo estas mesmas palavras, mas sou um erro, um... fantasma.

Faz sentido apresentar aqui outra epígrafe para o livro *Vários Mundos*, que é um excerto de um texto do filósofo americano William James:

As realidades parecem flutuar num vasto oceano de possibilidades, das quais foram escolhidas, e em algum lugar, o indeterminismo afirma que tais possibilidades existem e fazem parte da verdade.

Notemos que na história de Borges não há menção a viagens entre diferentes épocas. Assim, ela corresponde a uma versão bastante rigorosa e minimalista da interpretação de *Vários Mundos*. O conto *A Conspiração Celestial*, escrito em 1940 por outro escritor argentino, amigo de Borges, Adolfo Bioy Casares, é menos conhecido. O protagonista dessa história viaja entre diferentes mundos paralelos com histórias distintas; esses universos são muito semelhantes aos mundos de Everett. Em um desses mundos, não foi Roma que venceu a guerra contra Cartago, mas sim Cartago. Assim, a maioria das palavras neste mundo alternativo não tem raízes latinas, mas sim fenícias. Portanto, a história contada por Bioy Casares é muito próxima das especulações modernas na ficção científica.

Uma representação bastante inesperada das ideias de *Vários Mundos* surge do conto *Um velho de Vladivostok*, escrito pelo escritor soviético russo Ryurik Ivnev [20]. Ryurik Ivnev é o pseudônimo de Mikhail Alexandrovich Kovalev, nascido em 1891 em Tiflis (atual Tbilisi) e falecido em 1981 em Moscou. Ele foi poeta, escritor de prosa, tradutor e um memorialista muito distinto, pois conhecia todo o mundo literário e artístico de sua época. Pode-se dizer que ele foi praticamente esquecido no final de sua longa vida. Há, no entanto, evidências de que Ivnev apreciava muito este conto. O famoso poeta soviético russo, Evgenij Evtushenko, lembrou que, quando jovem e no auge da sua fama, conheceu um Ryurik Ivnev já idoso e quase esquecido. Ivnev queria ler em voz alta *Um velho de Vladivostok* para Evtushenko. Ele o fez e Evtushenko ficou muito impressionado (sem fazer qualquer conexão entre a história de Ivnev e a mecânica quântica). Neste conto, o narrador, um jovem, conta sobre seu encontro fortuito na cidade de Vladivostok com um

velho. Este velho expõe ao narrador sua teoria da realidade múltipla. Faz sentido apresentar aqui algumas citações desta história:

A estrada que escolhermos será a nossa estrada principal; certamente isso não significa que outras estradas não existam? Elas são tão reais quanto aquela que escolhermos, e cada uma dessas estradas seria a nossa estrada principal se a tomássemos.

E outra:

O que minha teoria, se você pode chamá-la assim, lhe dará? Nada agora. Mas no futuro, desde que você seja dotado de uma mente inquisitiva, algum prazer. Você me perguntou em que consiste esse prazer? Primeiramente, no conhecimento de que sua vida teria sido completamente diferente. — Contanto que — interrompi-o — eu ficasse insatisfeito com a minha vida. — Não, não, você me entendeu mal. Se você será feliz ou infeliz não importa. O prazer está em sentir como se tivesse uma vasta reserva de filmes da sua vida, ainda por usar, na sua mala de viagem.

Apresentamos no Apêndice A a tradução completa do conto de Ivnev.

Esses exemplos de histórias escritas independentemente e muito antes das obras de Everett nos levam a crer que a ideia central da interpretação de *Vários Mundos* da mecânica quântica não é tão contraintuitiva quanto parece à primeira vista.

#### 4 Observações finais

Neste breve artigo, procuramos apresentar de forma simples a interpretação de *Vários Mundos* da mecânica quântica e discutir a questão de sua presumida contraintuitividade. Chamamos a atenção dos potenciais leitores para algumas obras literárias e cinematográficas onde a ideia da multiplicidade de mundos foi expressa em um estilo bastante “everettiano”, mesmo que algumas delas tenham sido publicadas muito antes da tese de doutorado de Everett. Observe que a relação entre o conto de Ryurik Ivnev foi mencionada pela primeira vez no livro [21] e posteriormente discutida em [22]. Seria interessante observar qual versão da interpretação de *Vários Mundos* – a conservadora, que nega a possibilidade de transição entre os ramos de Everett, ou a mais especulativa, que aceita tal possibilidade –

se tornará verdadeira. Talvez o desenvolvimento futuro da teoria quântica forneça uma resposta definitiva a essa questão.

### **Agradecimentos**

O autor agradece ao Professor Júlio C. Fabris pela sugestão de escrever este artigo e por ajudar a traduzi-lo para o português. Agradeço também a ele e à Universidade Federal do Espírito Santo pela gentil hospitalidade durante o mês de janeiro de 2026, período em que este artigo foi escrito.

### **Apêndice A: O Homem velho de Vladivostok - Ryurik Ivnev (1927)**

No outono de 1926, em Vladivostok, hospedado no Hotel Chifre de Ouro,<sup>1</sup> refleti sobre a inesperada felicidade que me invadia. A felicidade de ver esta cidade maravilhosa com meus próprios olhos, e não apenas vê-la, mas também vivê-la.

O Chifre de Ouro lembrava uma pensão elegante. Bastava tocar a campainha e um chinês aparecia, sempre sorrindo. Educado e gentil, ele imediatamente trazia um ar acolhedor ao quarto do hotel. Ele tinha uma lista de preços na mão. Comecei a folheá-la.

“Por que você não quer comer no restaurante? Lá tem música, é divertido.”

Apontei para meus manuscritos: “Preciso economizar tempo. Tenho muito trabalho.” O chinês sorriu: “Trabalhe de manhã, passeio à noite.” “Certo”, respondi. “Amanhã começo a passear, e hoje...” O chinês riu: “Você diz isso todo dia e fica sentado no hotel o dia todo.” Mas hoje, como que hipnotizado pelo chinês, depois do almoço, em vez de trabalhar, saí para a Rua Svetlanka — a rua principal da cidade. Sua agitação me lembrou as Avenidas Nevsky e Golovinsky em duas cidades distantes — Leningrado e Tbilisi. Cheguei a um pequeno parque chamado Matrossky. O sol estava escaldante. O cheiro do mar era inebriante. Os bancos, verdes como grama fresca, me convidavam. E eu os obedeci. Alguns minutos depois, a figura robusta de um senhor de uns setenta anos sentou-se ao meu lado. Antes

<sup>1</sup>Em russo, “Zolotoj Rog”, nome de uma baía na costa marítima de Vladivostok. A tradução do nome do hotel é literal.

de fazê-lo, ele ergueu seu chapéu de palha e perguntou: “Posso?”

Assenti com a cabeça. Foi assim que tudo começou. Conversas em parques surgem espontaneamente. Depois de duas ou três frases insignificantes, ele me perguntou: “Você já parou para pensar em como a vida é difícil?”. Imediatamente me lembrei de um estudante em São Petersburgo que me atormentava com seus tratados filosóficos, que abordavam questões globais e encantavam as damas inteligentes dos salões de São Petersburgo. Aparentemente, o velho leu tudo pela minha expressão. Ele riu. “Sou um fracassado”, disse ele, com o rosto iluminado por um sorriso gentil e bem-humorado. “Todo mundo tem um tema favorito. Eu costumo pensar que, além da vida principal que vivemos, existem... não vou dizer milhões, mas certamente centenas de milhares de vidas dentro de nós. Por exemplo, cheguei a Vladivostok exatamente dez anos atrás, em 1916. Antes disso, morava em São Petersburgo. Quando decidi deixar a capital, tinha duas opções: Kiev e Tashkent. Durante dez anos, vivi aqui, por assim dizer, minha vida principal. Mas se eu tivesse escolhido Kiev, minha vida teria continuado, mas em um ambiente completamente diferente, e não como aqui, mas de uma maneira diferente. Então, teoricamente, essa vida também existe, paralela à minha vida principal. Mas e se eu tivesse ido para Tashkent? E assim se resolve sua segunda vida teórica. Mas tudo isso é apenas uma gota no oceano comparado às ramificações que surgiriam ao longo das ‘linhas’ de Kiev e Tashkent. Entendeu minha ideia principal?” “Acho que apenas aproximadamente”. “O que poderia ser mais simples!” exclamou meu interlocutor. “Todas essas vidas imaginárias se tornariam bem reais se nos desviássemos um passo sequer do nosso caminho principal. Aqui vai outro exemplo. Estamos dirigindo por um terreno desconhecido. Há muitas estradas, algumas lisas, outras irregulares. Há até mesmo trechos de terra virgem onde se pode dirigir. A estrada que escolhermos será a nossa principal; certamente isso não significa que outras estradas não existam? Elas são tão reais quanto aquela que escolhermos, e cada uma dessas estradas seria a nossa principal se a tomássemos.”

Tudo isso era muito interessante, e me lembrei novamente do chinês por meio de quem ouvi

esses pensamentos. Mas a juventude não tem tanto conhecimento quanto a velhice. Ela tem seus próprios caminhos reais e se interessa pouco pelos imaginários. E eu, pecaminosamente, pensei: “Por que dei ouvidos ao meu querido rapaz chinês? Se não fosse por ele, eu não teria caído nessa armadilha, da qual o medo de ofender o velho me impede de escapar”. Ele obviamente leu meus pensamentos, porque disse, sorrindo: “Eu também já fui jovem, e por isso entendo perfeitamente que você ache meus delírios entediados, como você deve ter chamado minhas teorias sobre os ‘caminhos tortuosos da vida’”. Eu, é claro, respondi que ele estava enganado. Ele fingiu acreditar em mim e continuou: “Se você viver até a minha idade, verá que as questões mais complexas parecem complexas até que as resolvamos. Então, elas se tornam simples. Mas para que se tornem simples, não apenas para quem as descobre, é preciso uma plataforma, e eu não tenho uma. Posso morrer a qualquer dia, e para não levar meu segredo para o túmulo, quero revelá-lo a você, pois você é pelo menos meio século mais jovem do que eu. É verdade que minha descoberta não pode fazer as pessoas felizes nem infelizes. Minha descoberta pode trazer algum prazer a mentes curiosas. O filósofo Chamfort teria sido o primeiro a me ridicularizar, se não tivesse morrido há cento e vinte e oito anos. Ele disse que não se pode ser uma testemunha imparcial da própria vida, e eu sou precisamente isso. E embora Chamfort tenha dito que a vida das pessoas contemplativas costuma ser triste, eu pessoalmente não acho que seja esse o caso.” Ele se calou.

Se eu fosse dez anos mais jovem, teria aproveitado o crepúsculo que se aproximava e fugido do meu interlocutor fortuito. Mas ele leu meus pensamentos novamente e exclamou: “Jovem! Juro que isto não é um tratado! São apenas algumas palavras, depois das quais você poderá ir dançar no Chifre de Ouro ou onde quiser.” Resignei-me ao meu destino. O crepúsculo denso me impediu de forçar um sorriso. “O que minha ‘teoria’, se é que se pode chamar assim, lhe trará? Nada agora. Mas no futuro, desde que você tenha uma mente curiosa, algum prazer... Você me perguntou em que consiste esse prazer? Em primeiro lugar, na certeza de que sua vida teria sido completamente diferente...” — “Desde que”, interrompi-o, — “eu esteja insatisfeito com a minha vida.” — “Não,

não, você me entendeu mal. Se você será feliz ou infeliz não importa. O prazer está em sentir como se tivesse uma vasta reserva de filmes da sua vida, ainda por usar, na sua mala de viagem.” — “Mas eu nem vou poder brincar com essas fitas, como se brinca com serpentinas num baile?” — “A juventude só tem uma coisa em mente”, disse o velho, irritado, mas logo se acalmou e acrescentou: “Não o culpo. É a vida. Já disse o mais importante. Agora tudo dependerá de você. A semente que lhe dei germinará ou murchará, se você se mostrar menos importante do que pareceu à primeira vista.” O velho se levantou do banco de madeira e foi embora, com passos rápidos para a sua idade. Voltei ao Chifre de Ouro. Não estava com vontade de descer ao restaurante, então pedi o jantar por telefone. Para minha surpresa, o chinês chegou muito atrasado. Estava tão aflito que quase derrubou a bebida e, embora eu não tenha demonstrado nenhum desagrado com o atraso, ele começou a se desculpar: “Não é minha culpa. É culpa do restaurante. Havia muito barulho e chegou um homem de jaleco branco. Um senhor veio jantar. Pediu o jantar e morreu.”

“Esse senhor estava doente?”, perguntei. “Não, ele caiu. Caiu e morreu.” Pela descrição do chinês, percebi que meu interlocutor recente havia falecido.

Naquela manhã, recebi um telegrama que mudou drasticamente meus planos. Em vez de ir para Moscou, comprei uma passagem no navio a vapor Tomsk, com destino a Petropavlovsk-Kamchatsky. No convés do que me pareceu então um enorme navio a vapor, quando as luzes do cais de Vladivostok começaram a se assemelhar a pequenas estrelas, lembrei-me mais uma vez do meu interlocutor recente e pensei: “Minha rota principal para Moscou acabou sendo um caminho secundário, ou seja, não um caminho real, mas a rota para Kamchatka, com a qual eu apenas sonhara, tornou-se real, ou como meu interlocutor a chamou, a principal.”

### Resumo biográfico do autor

Ryurik Ivnev é o pseudônimo de Mikhail Alexandrovich Kovalev, que nasceu em Tiflis (atual Tbilisi) em 1891 e morreu em Moscou em 1981. Ele foi poeta, escritor, tradutor e memorialista, e conhecia bem quase todas as personalidades notáveis da literatura russa e soviética. Suas

memórias são muito valiosas, mas ele está praticamente esquecido hoje em dia. Seu conto *Um velho de Vladivostok* foi escrito em 1927.

Sabe-se que ele próprio gostava muito desta história e costumava lê-la para alguns dos seus colegas. A relação entre esta história e a interpretação de Vários Mundos da mecânica quântica foi observada por mim e descrita no livro de Barvinsky AO, Kamenshchik AY e Ponomariov VN, *Questões Fundamentais da Interpretação da Mecânica Quântica: Uma Abordagem Moderna*, Editora Pedagógica da Universidade de Moscou, 1988 (em russo). Posteriormente, foi discutido mais a fundo no artigo de A.Yu. Kamenshchik e O.V. Teryaev, *Interpretação de Vários Mundos da Teoria Quântica, Princípio Antrópico Mesoscópico e Evolução Biológica*, publicado em edição especial da revista “Neuroquantology”, em 2013, volume 11.

---

### Sobre o autor

Alexander Yu. Kamenshchik ([kamenshchik@bo.infn.it](mailto:kamenshchik@bo.infn.it)) é especialista em gravidade clássica e quântica, cosmologia, teoria quântica de campos e fundamentos da mecânica quântica. Ele obteve seu doutorado na Universidade M.V. Lomonosov de Moscou e trabalhou no Instituto L.D. Landau de Física Teórica. Trabalha no Departamento de Física e Astronomia da Universidade de Bolonha desde 2005.

### Referências

- [1] B. S. DeWitt e N. Graham (eds.), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1973).
- [2] J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1955), translation of German original: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, 1932.
- [3] N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (John Wiley and Sons, New York, 1958).
- [4] M. Born, *Physics in My Generation: A Selection of Papers* (Pergamon Press, London, 1956).
- [5] D. Bohm e B. J. Hiley, *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory* (Routledge, London and New York, 1993).
- [6] D. Bohm, *Quantum Theory* (Prentice-Hall, New York, 1951).
- [7] A. Einstein, B. Podolsky e N. Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, *Physical Review* **47**(10), 777 (1935).
- [8] Y. Aharonov e D. Bohm, *Significance of Electromagnetic Potentials in Quantum Theory*, *Physical Review* **115**(3), 485 (1959).
- [9] H. Everett III, *The Theory of the Universal Wave Function*, in *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, editado por B. S. DeWitt e N. Graham (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1973), 3–140, based on Everett’s Princeton PhD work (draft completed in 1956, thesis defended in 1957).
- [10] H. Everett III, *‘Relative State’ Formulation of Quantum Mechanics*, *Reviews of Modern Physics* **29**(3), 454 (1957).
- [11] J. A. Wheeler, *Assessment of Everett’s ‘Relative State’ Formulation of Quantum Theory*, *Reviews of Modern Physics* **29**(3), 463 (1957).
- [12] B. S. DeWitt, *Quantum Mechanics and Reality*, *Physics Today* **23**(9), 30 (1970).
- [13] E. Schrödinger, *Discussion of Probability Relations Between Separated Systems*, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **31**(4), 555 (1935).
- [14] E. Schrödinger, *Probability Relations Between Separated Systems*, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **32**(3), 446 (1936).
- [15] F. Pohl, *The Coming of the Quantum Cats* (Bantam Books, New York, 1986).

- [16] P. Howitt, *Sliding Doors*, Film (1998), starring Gwyneth Paltrow and John Hannah.
- [17] P. Amnuel, *Noncriminal Case* (AST, Moscow, 2021), original in Russian: Некриминальный случай.
- [18] T. Damour e M. Burniat, *Le mystère du monde quantique* (Dargaud, Paris, 2016).
- [19] J. L. Borges, *El jardín de senderos que se bifurcan* (Editorial Sur, Buenos Aires, 1941).
- [20] R. Ivnev, *An Old Man from Vladivostok* (Self-published, Moscow, 1927), short story, original in Russian: Владивостокский старик.
- [21] A. O. Barvinsky, A. Y. Kamenshchik e V. N. Ponomariov, *Fundamental Questions of the Interpretation of Quantum Mechanics: A Modern Approach* (Moscow State Pedagogical University Publishing House, Moscow, 1988), original in Russian.
- [22] A. Y. Kamenshchik e O. V. Teryaev, *Many-Worlds Interpretation of Quantum Theory, Mesoscopic Anthropic Principle and Biological Evolution*, *NeuroQuantology* **11**(Suppl. 1), 129 (2013). [ArXiv:1302.5545](https://arxiv.org/abs/1302.5545).